

Opinnäytetyö (AMK)  
Elektroniikka  
Elektroniikkatuotanto  
2010

Markus Lehti

# PIIRIKORTIN AUTOMAATTINEN OPTINEN TARKASTAMINEN



**TURUN AMMATTIKORKEAKOULU**  
TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Markus Lehti

# PIIRIKORTIN AUTOMATTINEN OPTINEN TARKASTAMINEN

Yhä useammat yritykset ovat siirtyneet käyttämään piirikortin automaattista optista tarkastamista. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia piirikortin automaattista optista tarkastusta (AOI). Tarkoituksena oli myös koota tiivis tietopaketti laitteen toimintaperiaatteista ja ominaisuuksista sekä ottaa käyttöön Turun ammattikorkeakoulun elektroniikkatuotannon laboratoriossa olevaan laitteeseen, jolla tehdään optisia tarkastuksia piirilevyihin. Tavoitteena oli saada Turun Ammattikorkeakoulun elektroniikkatuotannon laboratorion automaattinen optinen tarkastuslaite käyttökuntoon.

Opinnäytetyössä on tutkittu automaattisen optisen tarkastusjärjestelmän ominaisuuksia ja järjestelmän komponenttien ominaisuuksia. Tutkimus on tehty käyttäen useita aiheesta tehtyjä artikkeleita ja kirjoja. Tutkimus toimii aiheesta tehtynä kattavana teoreettisena yhteenvetona, jonka avulla aiheesta kiinnostunut voi tutustua automaattisen optisen tarkastuksen toimintaperiaatteisiin ja käyttöön. Tutkimuksen suurimpana merkityksenä elektroniikan alalle voidaan pitää automaattisen optisen tarkastajan käytön ja ominaisuuksien erilaisten mahdollisuuksien kartoittamista.

Tutkimuksen tuloksena on saatu tietoa automaattisen optisen tarkastajan ominaisuuksista sekä käytöstä. Teoriaosassa perehdytään kattavasti automaattisessa optisessa tarkastuksessa käytettyihin laitteisiin ja menetelmiin, sekä sovelluksiin. Turun ammattikorkeakoulun elektroniikkatuotannon laboratorion laitteessa esiintyi puutteita, jotka estivät sen käyttöönoton.

Tulokset toimivat hyvänä pohjana jatkotutkimuksille aiheesta, sillä työssä on tarkasteltu automaattista optista tarkastusta laajasti ja monipuolisesti. Tutkimus antaa myös hyvän teoriapohjan kenelle tahansa aiheesta kiinnostuneelle. Erityisesti elektroniikan opiskelijat voivat hyötyä tämänkaltaisesta koonnista, jossa melko vieraasta aiheesta on tehty suomenkielinen tiivis tietopaketti, mutta myös aiheeseen perehtyneemmät voivat tutkimuksen avulla saada uusia näkökulmia tutkimaansa aiheeseen.

Markus Lehti

# AUTOMATIC OPTICAL INSPECTION OF A PRINTED CIRCUIT BOARD

The aim of this thesis was to explore the technique of automatic optical inspection (AOI). The intention was to gather information and to explore the use and characteristics of the automatic optical inspection machine of the Turku University of Applied Sciences Electronics Production Laboratory. Another aim was to make the school's automatic optical inspection machine work properly. The subject of this thesis is of current interest because companies are using more and more automatic optical inspection.

In this thesis information of the automatic optical inspection system and of its components was gathered. The information was gathered from various scientific articles and books in the field of electronics research. This thesis can be used as a theoretical summary of automatic optical inspection, and it is useful information for anyone who is interested in the use and principles of automatic optical inspection. The main advantage of this thesis is exploring automatic optical inspection's advantages in use and exploring the qualities of the automatic optical inspection machine.

The results of this thesis show a summary of information of the usage and qualities of the automatic optical inspection machine. The theory part of this thesis is an extensive review of the topic. The automatic optical inspection machine of the Turku University of Applied Sciences Electronics Production Laboratory was not complete and could not be taken into use.

The results of this thesis can be used as a basis for future research of this topic. Both students of electronics and researchers can find the Finnish summary of automatic optical inspection useful and interesting, either a study material or as giving new perspectives on this subject.

**KEYWORDS:** automatic optical inspection, quality control, process control, electronics production

# Sisältö

<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 VISUAALISEN TARKASTUKSEN TAUSTAA.....</b>	<b>3</b>
<b>3 OPTISET TEKNIIKAT.....</b>	<b>4</b>
3.1 2D- ja 2D+-tekniikat.....	5
3.2 3D-tekniikka.....	5
<b>4 AUTOMAATTINEN OPTINEN TARKASTAMINEN TUOTANNOSSA.....</b>	<b>6</b>
<b>5 AUTOMAATTISEN OPTISEN TARKASTAJAN OMINAISUUKSIA.....</b>	<b>9</b>
5.1 Valaistus.....	9
5.2 Kameran ja linssit.....	11
5.3 Kuvankäsittely ja analysointi.....	12
5.4 Automaattisen optisen tarkastajan liikeradan suunnittelu.....	13
<b>6 SOVELLUKSIA.....</b>	<b>14</b>
6.1 Vektorillinen kuvatekniikka.....	14
6.2 Jaettu verkkoalusta optisessa tarkastamisessa.....	16
6.3 Verkossa toimiva optinen tarkastusjärjestelmä .....	17
<b>7 TULOKSET.....</b>	<b>19</b>
<b>8 AUTOMAATTINEN OPTINEN TARKASTAJA SVS SERIES 7500.....</b>	<b>20</b>
Laitteen osat ja ohjelmistot.....	20
<b>9 POHDINTA.....</b>	<b>23</b>
<b>10 YHTEENVETO.....</b>	<b>25</b>
<b>LÄHTEET.....</b>	<b>26</b>

## Kuvat

**Kuva 5.1** Elektromagneettinen spektri

**Kuva 5.2** Valkoinen valo suunnataan prisman läpi

**Kuva 5.3** Automaattisen optisen tarkastajan kamerat.

**Kuva 6.1** Verkossa toimiva automaattinen tarkastus järjestelmä

**Kuva 8.1** SVS-automaattinen optinen tarkastaja.

**Kuva 8.2** Automaattisen optisen tarkastusjärjestelmän toimintopaneeli.

**Kuva 8.3** automaattisen tarkastus laitteen lukupään suojat irrotettuna.

# 1 JOHDANTO

Tehtaiden tuotantolinjoja on jo pitkään kehitetty yhä automatisoidumpaan suuntaan. Myös elektroniikka-alalla tuotantolinjojen prosessit ovat suurelta osin automatisoituja, ja automatisoitujen työvaiheiden osuus kasvaa edelleen tekniikan kehittyessä. Suurin syy automatisoitumiseen on kustannustehokkuus, sillä tuotantolinjoista pyritään automatisoimalla saamaan entistä nopeampia ja luotettavimpia. Pitkälle automatisoitu tuotantolinja on myös helppo siirtää maasta toiseen. Tehtaiden ja tuotantolinjojen automatisoiminen tuo mukanaan uusia ratkaisuja, joissa tuotteiden laadun tarkastamiseen käytetään ihmissilmän sijaan robotteja ja kameroita.

Automaattinen optinen tarkastaminen tehtaissa lisääntyy koko ajan, ja tekniikoita kehitetään palvelemaan paremmin massatuotannon haasteita. Käyttämällä automaattista optista tarkastamista tuotantolinjastoissa yhteydessä muihin laitteisiin, laadunvalvonta on reaaliaikaista ja hallittua.

Tässä työssä perehdytään tuotannossa tapahtuvaan automaattiseen optiseen tarkastamiseen sekä sen sovelluksiin. Aihe oli ajankohtainen, koska yhä useammat yritykset ovat siirtyneet käyttämään automaattista optista tarkastamista. Yrityksillä on useita syitä ottaa automaattinen optinen tarkastaminen käyttöön, kuten parempi ja nopeampi laadunvalvonta sekä huomattavasti varmempi virheellisten juotosten ja muiden virheiden havainnointi piirilevyillä.

Piirilevyn optista tarkastamista on pohdittu jo 20 vuotta ja kymmenen vuotta se on ollut arkipäivää tuotannossa. Kuvan muuttamisesta elektroniseksi signaaliksi ja tarkastamisen tietojenkäsittelystä on päästy järjestelmään, joka suoriutuu todellisen tuotteen tarkastamisesta. Lisäksi järjestelmä on saatu vastaamaan tuotannon erikoislaatuista ja taloudellisesti kannattavaksi. (Feber 2007, 1.)

Aihetta sivuten on tehty ainakin yksi diplomityö. Kirjallista aineistoa aiheesta löytyy teoksista, jotka käsittelevät elektroniikan tuotantoa tai laadunvalvontaa. Pelkästään automaattisesta optisesta tarkastamisesta (AOI) ei ole tehty kuin joitain artikkeleita, ja kirjallinen aineisto on lähes poikkeuksetta kirjoitettu englanniksi.

Tämän työn tarkoituksena oli tutkia automaattisen optisen tarkastamisen hyötyjä ja mahdollisuuksia piirikorttivalmistuksessa. Tavoitteena oli kerätä tietoa aiheesta ja tutkia optisen tarkastusjärjestelmän komponenttien ominaisuuksia.

Tässä työssä on painotettu automaattisen optisen tarkastamisen hyötyjä elektroniikkatuotannossa. Työssä pelkästään omaa tekstiä on suurin osa johdannosta, tulokset, pohdinta ja yhteenveto. Muissa työn osissa on käytetty lähteitä oman pohdinnan lisäksi.

## 2 VISUAALISEN TARKASTUKSEN TAUSTAA

Viime vuosina automaattinen tarkastus tuotannossa on kasvanut. Ennen optisen tarkastuksen suorittivat ihmiset, mutta yhä enemmän siirrytään automaattiseen koneella suoritettavaan tarkastukseen. Automaattinen tarkastus on tuotannon kannalta houkuttelevampi vaihtoehto kuin ihmissilmä, sillä automaattinen koneella suoritettava tarkastus on nopeampaa, objektiivisempaa ja tarkempaa. Automaattisella tarkastuksella pystytään myös erottelemaan systemaattiset virheet satunnaisista virheistä, joten sillä pystytään tarjoamaan enemmän tietoa laadusta kuin silmämääräisellä tarkastuksella. Lisäksi, jos automaattinen tarkastus on sijoitettu linjastolle, on mahdollista tehdä reaaliaikaista lajittelua ja prosessin hallintaa. Automaattinen tarkastus tarjoaa siis kaksi isoa hyötyä tuotantoprosessiin. (Reinhard ym. 2005, 15.)

Prosessin, tuotteen ja koneen säädöt on kirjattu tietokantaan. Jos prosessissa huomataan jotakin poikkeavaa, se palutetaan toimiviin asetuksiin. Tällaisella yksinkertaisella prosessin hallinnalla pystytään minimoimaan virheiden määrää tuotantolinjalla. Prosessin hallinnan jälkeenkin tuotteessa saattaa olla tietty määrä systemaattisia virheitä. Systemaattisten virheiden aiheuttajat pyritään poistamaan prosessista. Jotta päästäisiin lopputuotteessa lähelle nollavirhettä, on virheet paikannettava sekä identifioitava, jotta virheet pystytään vaivattomasti korjaamaan. Tarkastuskohta on linjaston lopussa juotoksen jälkeen. (Reinhard ym. 2005, 25)

### 3 OPTISET TEKNIIKAT

Automaattisessa optisessa tarkastamisessa käytetään erilaisia optisia tekniikoita. Tässä luvussa perehdytään kaksiulotteisiin eli 2D-sovelluksiin ja kolmiulotteisiin eli 3D-sovelluksiin. Tässä luvussa esiteltäviä erilaisia kuvaustekniikoita ja skannereita voidaan kaikkia käyttää automaattisessa optisessa tarkastamisessa. Käytettävät tekniikat ja välineet määräytyvät kulloinkin käyttötarkoituksen mukaan.

Optiset kuvastamistekniikat voidaan jaotella kolmeen pääosaan: 2D-, 2D+- ja 3D-kuvaamiseen. 2D-metodeilla pystytään hahmottamaan halutun objektin ääriviivat ja vertaamaan sitä mallikappaleeseen. Tällöin kohteesta saadaan pelkästään kaksiulotteinen informaatio. Kaksiulotteisesta tekniikasta käytettäessä pystytään tuottamaan myös korkeushuippujen ääriviivoja. Tätä tekniikkaa kutsutaan 2D+-tekniikaksi, koska sillä pystytään myös havaitsemaan korkeuseroja. 3D-tekniikka on jo hieman kehittyneempää, ja sillä pystytään paikan lisäksi määrittämään myös korkeuksia ja etäisyyksiä. 3D-tekniikalla pystytään mittaamaan myös halutun kappaleen mittasuhteet tarkasti. (Osten 2007, 16; Reinhard ym. 2005.)

Ensimmäisen sukupolven tarkastustekniikka käyttää kameroita ja valoa muodostelmien vertailuun. Varjojen laskenta- ja kuvausjärjestelmä sisältää CCD-kameroita kuvan tunnistukseen ja erikoiskuvaohjelman tuottamaan analyysin kuvasta. CCD-kamera on mikropiiri, jonka pinnalla on joukko valoherkkiä kuvaelementtejä eli pikseleitä. Kameraan osuva fotonin kasvattaa jonkin pikselin varausta, ja valotuksen päätyttyä nämä varaukset luetaan muistiin. Useat valojärjestelmät on koottu käyttäen kaikenlaisia valonlähteitä lasereista loisteputkiin. Koska valolla ja käytettävällä päällysteellä on erityinen vuorovaikutus, tarkastuksessa on valittava oikea valon suuntaus sekä valon spektri. (Osten 2007, 16; Reinhard ym. 2005.)



### 3.1 2D- ja 2D+-tekniikat

Käytännössä 2D- ja 2D+-tekniikoissa on käytettävissä kaksi erilaista valovaihtoehtoa: kirkasala ja tumma-ala. Lisäksi valittavana on hämärä sekä suunnattu valosäde. Käytettäessä kirkasalaista valaistusta tasaiset kohdat näkyvät kirkkaana ja rosoiset kohdat levittävät valoa ja näkyvät tummempina. Tumma-alaista valaistusta käytettäessä tasaiset pinnat näyttävät tummilta, koska heijastunut valo ei tallennu kameran kennolle. Hämrä valaistus määräytyy ainoastaan valon vaimentumisen mukaan. Suunnattua valaistusta käytetään 2D+ tekniikoissa, koska se luo varjoja, jotka antavat korkeustietoja. (Osten 2007, 104; Reinhard ym. 2005.)

### 3.2 3D-tekniikka

Stereokuva-analyysi on 3D-erikoistekniikka, jossa vähintään kaksi kameraa on yhdistetty toisiinsa. Tietokone yhdistää kaksi 2D-kuvaa ja muodostaa 3D-kuvan. (Reinhard ym. 2005.)

Toinen 3D-tekniikan kategoria on laserskannereilla muodostetut tarkastajat. Laserilla pystytään erittäin suureen resoluutioon, koska lasersäteen pystyy kohdistamaan erittäin pieneen pisteeseen, jopa mikronin kokoiseen. Heijastuneet ja hajaantuneet säteet kerääntyvät muodostaen tarkemman kuvan. (Reinhard ym. 2005.)

On useita tekniikoita mitata etäisyyttä optisella menetelmällä. Leikkauspistesensorit havaitsevat kuvan terävyyden tai asteen, jolla kappale on ulkona leikkauspisteestä tietyllä kuvapinnalla. Kappaleen peilikuva on täysin yhdenmukainen tietyllä etäisyydellä olevan kappaleen kanssa. Käytännössä leikkauspistemenetelmät soveltuvat vain harvoin sovelluksiin, koska niiden heijastusherkyys vaihtelee. Tuottaakseen täydellisen 3D-kuvan halutusta alasta sensoreita on asetettava tarkastelemaan alaa joka puolelta. Tämä sovellus pystytään saamaan aikaan suhteellisen hitailla mekaanisilla toteutuksilla tai nopeilla optisilla skannereilla. (Reinhard ym. 2005.)

Yksi toteutusmahdollisuus on kolmiopohjainen tapa. Tässä mallissa säde ei ole samansuuntainen linssien kanssa. Etäisyyden vaihtuessa kappaleen kuva siirtyy myös havaitsemistasolla. Etäisyys pystytään määrittämään mittaamalla tämä siirtymä. Nopeilla kuvanlukijoilla, kuten pyörivillä peileillä varustetuilla optisilla kuvanlukijoilla, voidaan päästä erittäin nopeaan tiedonsiirtoon. (Reinhard ym. 2005.)

## 4 AUTOMAATTINEN OPTINEN TARKASTAMINEN TUOTANNOSSA

Tuotannossa on käytössä yhä laajemmin automaattisia optisia tarkastusjärjestelmiä. Tarkastuspisteitä saattaa olla useita, kuten komponenttiladonnan jälkeen sekä juotoksen jälkeen. Tässä opinnäytetyössä käsitellään tuotannossa tapahtuvaa optista tarkastamista sekä sen hyötyjä. Automaattisen optisen tarkastamisen haittapuolina on tietenkin laitteiston hankintakustannus, mutta hyvä tarkastusjärjestelmä ennaltaehkäisee virheitä ja parantaa koko prosessin laatua sekä luotettavuutta.

Pintaliitostekniikka on yksi eniten käytetyistä tekniikoista piirikorttivalmistuksessa. Sen tuotantoprosessi koostuu kolmesta pääkohdasta pastanpainosta, komponenttiladonnasta ja juotoksesta uunissa. Käyttämällä pintaliitostekniikkaa tuotantoprosessi nopeutuu, mutta myös virheiden riski kasvaa. Jokaisessa prosessin vaiheessa voi esiintyä lukuisia erilaisia virheitä, kuten pastanpainossa pastan puuttuminen joltain alueelta, tinasillat, komponenttiladonnassa puuttuvat tai väärin asettuneet komponentit ja uunivaiheessa syntyneet virheelliset juotoskohdat. Komponenttien pientyminen, tiheyden kasvaminen piirilevyllä ja pitkälle automatisoituneet tuotantovälineet tekevät virheiden paikantamisesta erittäin tärkeitä ja haastellista. (Acciani ym. 2006, 1.)

Virheet havaitaan usein piirin sisäisessä testissä, toiminnallisessa piirilevyn tarkastamisessa, automaattisessa optisessa tarkastamisessa tai manuaalisessa visuaalisessa tarkastamisessa. Piirilevyn valmistajat ovat todenneet, että fyysisillä neulapedin kaltaisesti asetetuilla testiantureilla on vaikea päästä käsiksi tiheään piirilevyyn. Ohjelmistot toiminnallisiin testeihin ja testikalusto monimutkaisiin piirilevyihin ovat liian kalliita ja aikaa vieviä. (Acciani ym. 2006, 1.)

On osoitettu, että piirilevyn valmistuksessa 90 % virheistä tapahtuu juotoksen jälkeen. Virheet tulevat komponentista ja juotoksen virheistä (Krippner 2004, 26). Pastanpainon sekä komponenttien virheiden tarkastuksella pystytään myös vähentämään prosessin virheitä merkittävästi. Suuri osa näistä virheistä pystyttäisi eliminoimaan myöhemmissä vaiheissa. Niinpä pastanpainoa tai ennen uunia tapahtuva laadunvalvonta on käytännöllinen tapa optimoida prosessi. Näillä toimilla päästään eroon suuren joukon tuotantovirheistä sekä virheistä, jotka johtuvat tuotantolaitteista. Lisäksi 80 % optisesti havaituista virheistä ei pystyttäisi tunnistamaan elektronisesti. Nämä tulokset todistavat, että automaattinen optinen tarkastaminen on erittäin tärkeää. AOI-laitteistosta tulee avainasia tuotantoprosessissa, kun päätetään ennen uunia tapahtuvasta tarkastamisesta. (Acciani ym. 2006.)

Vialliset juotosliitokset sekä virheet, jotka tulevat esiin uunivaiheessa, ovat erittäin tärkeitä huomata. Ne aiheuttavat tinasiltoja sekä puuttuvia kontakteja, jotka aiheuttavat piirilevyn viallisen toiminnan. Lisäksi oikea tieto tinan määrästä antaa informaatiota koko tuotantoprosessin laadusta. Tämän vuoksi on tehty useita tutkimustöitä ja kehitelty erilaisia tekniikoita tunnistamaan vialliset juotoskohdat. (Acciani ym. 2006, 2.)

Suunnittelun tuloksena on kehitetty kaksitasoinen luokittelija tunnistamaan neljän eri tyyppin juotosliitokset. Nämä neljä juotosliitostyyppiä ovat hyvä, ei ollenkaan, huono ja liiallinen. Tekniikassa käytetään kolmea kerrosta rengasmaisia LED-valoja valaisemaan juotoksien muodot. Tästä tiedosta erotetaan kaksikulotteiset ominaisuudet eli keskimääräiset harmaansävyt ja kirkkauden pitoisuudet. Tiedot syötetään ensimmäiseen tasoon luokittelijassa, joka on monikerroksinen havainnollistava (MLP) verkosto. Epävarmoissa tapauksissa käytetään myös 3D-tekniikalla toteutettuja arvioita, jotka sijoitetaan toiseen tasoon luokittelijassa. Näiden tulosten arviointi vaatii tietämystä tuotantoprosessin parametreista, kuten pinnan rosoisuudesta ja valonlähteen valovoimasta. Kolmea väriä käyttävä pyöreää valaistuslaitteistoa on myös käytetty. Laitteistolla päästään hyvään suorituskkyyn sekä hyviin luokitusrajoihin. Huonona puolena valaistuslaitteistossa on levyn muotojen arvioinnin monimutkaisuus. (Acciani ym. 2006, 2.)

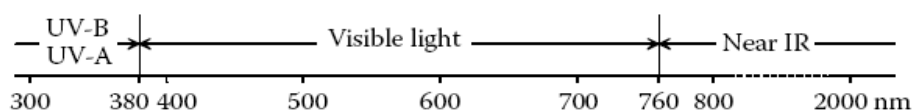
Komponenttien ja tuotteen välitarkastaminen tietyillä spesifikaatioilla on hyvin lähellä laadunvalvontaa. Tarkastaminen voi jopa toisissa tapauksissa olla sama asia kuin laadunvalvonta. Toleranssit ovat hyväksytyjä tietyssä suunnassa. Tosin vain muutamat tuotteet katsotaan viallisiksi, jos niiden poikkeamat pysyvät sallituissa rajoissa. Siitä syystä on erittäin tärkeää huomata virheet, jotta virheellinen tuotteen valmistus ei jää korjaamatta. (Singh 2006, 466.)

## 5 AUTOMAATTISEN OPTISEN TARKASTAJAN OMINAISUUKSIA

Automaattisessa optisessa tarkastajassa on useita komponentteja, joista laitteisto koostuu. Tässä luvussa tutustutaan valaistukseen, kameroihin, linssihin, kuvan käsittelyyn ja analysointiin. Laitteiston käyttötarkoitus ja tarkkuusvaatimukset asettavat kriteerit automaattisen optisen tarkastajan komponenttien ominaisuuksille.

### 5.1 Valaistus

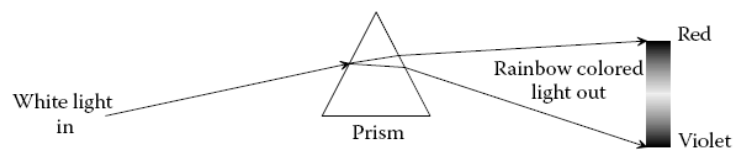
Ensimmäinen tehtävä hyvän kuva-analyysijärjestelmän kehittämisessä on löytää sopiva valaistus. Käytännön huomiota on keskitettävä taustan valaistukselle. Tarkoitukseen sopiva hyvä valaistus mahdollistaa saatujen kuvien analysoinnin yksinkertaisia algoritmeja käyttäen. Huonossa valaistuksessa edes kehittyneimmät algoritmit eivät välttämättä pysty erottamaan haluttua kuvaa taustastaan. Valaistuksen ollessa liian kirkas saattaa sensorit mennä kyllästystilaan ja aiheuttaa ylivalottuneita kuvia, jotka johtavat väärään lopputulokseen. Ihmissilmällä pystytään näkemään vain näkyvä valo elektromagneettisesta spektristä. Kuva-analyysissa ollaan kuitenkin kiinnostuneita ultraviolett- ja infrapunasäteilyosasta elektromagneettista spektriä. Niinpä kuva-analyysin kannalta tärkeimpiä taajuuksia ei pystytä havainnoimaan ihmissilmällä. (Osten 2007, 8-12.)



**Kuva 5.1** Elektromagneettinen spektri (Osten 2007, 17).

Kuvan 1 elektromagneettisessa spektrissä UV-B:llä ja UV-A:lla merkitty alue ( $\lambda < 300\text{-}380\text{ nm}$ ) kuvaa ultraviolettivaloa, ja alue ( $\lambda = 380\text{-}760\text{ nm}$ ) kuvaa näkyvää valoa, jonka pystyy ihmissilmällä havaitsemaan. Yli 760 nm alue on lähellä infrapunavaloa.

Hehkulamppu ja auringonvalo näyttävät ihmisilmään valkoiselta valolta. Tämä tukee faktaa, että auringonvalo ja hehkulampun valo kattavat elektromagneettisen spektrin koko näkyvän valon alueen. Kuvasta 2 tämä voidaan todeta, kun valonsäteet menevät lasista tai vastaavasta läpinäkyvästä materiaalista valmistetun prisman läpi. Lasin suuremmasta optisesta tiheydestä johtuen valon aallot taittuvat eri asteille riippuen niiden aallonpituudesta ja muodostavat sateenkaaren värit. Tätä ilmiötä kutsutaan dispersioksi. (Osten 2007, 5.)



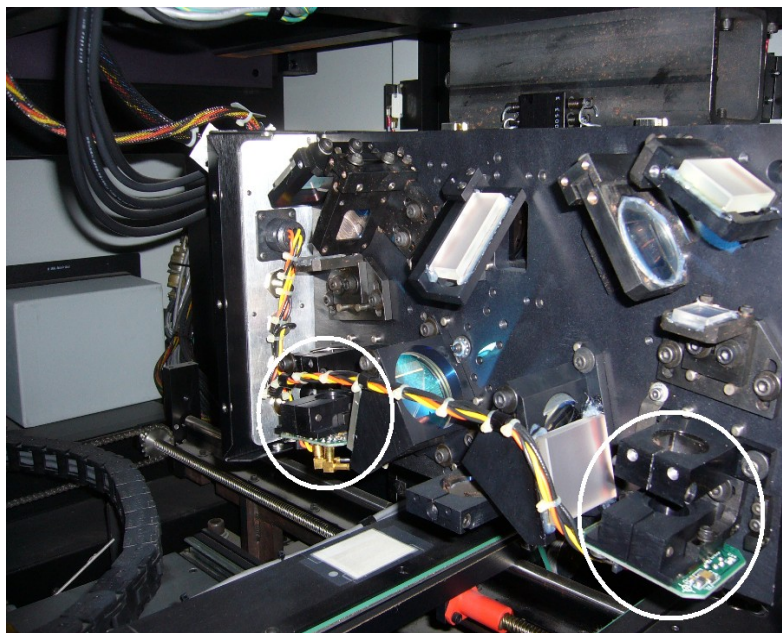
**Kuva 5.2** Valkoinen valo suunnataan prisman läpi (Osten 2007, 5).

LED-valoja käytetään usein valaistuksessa, jos tutkittava kohde ei ole liian suuri. LED-valaisimien laajojen värivaihtoehtojen vuoksi niillä pystytään kattamaan koko näkyvän valon alue sekä lähes infrapuna- ja ultraviolettivaloalueet. LEDien hyötyihin kuuluvat myös pieni lämpöhäviö sekä mahdollisuus nopeaan sammuttamiseen ja päälle laittamiseen. (Osten 2007, 7)

## 5.2 Kamerate ja linssit

Automaattisessa optisessa tarkastusjärjestelmässä voidaan käyttää kolmea erityyppistä kameraa. Käytävissä on analoginen kamera, digitaalinen kamera ja älykamera. Älykamerassa on yhdistettynä digitaalinen kamera sekä ohjelma, jolla kuvaa analysoidaan. (Osten 2007, 20.)

Todellisen kuvan tuottamiseen kamerasta on olemassa useita erilaisia linsskejä. Linssin valinta riippuu kuvattavan kohteen koosta. Käytössä on normaalikokoinen, suurentava ja pienentävä linssi. Näiden linssien kuvaominaisuudet ovat kuitenkin lähellä normaalin ohuen linssin ominaisuuksia . (Osten 2007, 12.)



**Kuva 5.3** Automaattisen optisen tarkastaja kamerat.

Kuvan 3 ympyröidyissä kohdissa on kuvattu automaattisen optisen tarkastusjärjestelmän (SVS) kamerat, jotka on suunnattu useiden linssien ja peilien kautta haluttuun kohteeseen.

### 5.3 Kuvankäsittely ja analysointi

Kuvan analysointiin päästään, kun tallennetusta kuvasta on saatu esiin tärkeimmät ominaisuudet kuvaprosessoinnin jälkeen. Koska yleensä ollaan kiinnostuneita vain tietyistä osista kuvaa, kuvasta rajataan vain haluttu alue tutkittavaksi. Rajoittamalla analyysi ainoastaan yhteen kuvan alueeseen, pystytään pitämään samat analyysimenetelmät kuvan vaihtuessa. Työmenetelmät, joita käytetään kuvananalysoinnissa, voidaan jakaa spektriominaisuuksiin ja spatiaalisiin ominaisuuksiin. (Osten 2007, 31.)

Spektrioperaatiossa analysoidaan värien jakautumista, harmaansävyjen arvoja tai maustan ja valkoisen sävyjä kuva-alueessa. Spatiaalisia kuvan ominaisuuksia ei oteta tässä kohtaa huomioon, ja siitä johtuen tämä soveltuu erinomaisesti testaamiseen. Spatiaaliset operaatiot arvioivat tutkittavan kohteen muotojen ominaisuuksia, joita muodostuu harmaansävyjen jakaumista. Tämän ominaisuuden vuoksi tämä tekniikka soveltuu hyvin mittauksiin sekä testien tekemiseen ja objektien tunnistamiseen ja paikantamiseen. (Osten 2007, 32.)

Teknisten tuotteiden laadun valvonta perustuu kuvien tulkitsemiseen. Visuaalisessa tarkastamisessa kuvan tulkinnasta voi vastata myös ihminen, mutta tällöin laatuvarmuus heikkenee ja kustannukset kohoavat. Vaikka tietokone ei siis suoriudu ihmisen suorittamasta ajattelutyöstä, se pystyy tulkitsemaan kuvia käyttäen sopivia algoritmeja ja ohjelmia. Tietokoneen suorittamassa kuvankäsittelyssä on monia hyötyjä, kuten testin toistettavuus, mahdollisuus mitata saatuja tuloksia ja massatuotannon vaatima suuri nopeus. (Osten 2007, 37.)



Yksinkertaisin kuva-analyysi on harmaasävyjen keskiarvon laskeminen tietystä kuvan segmentistä. Laskeminen pystytään toteuttamaan esimerkiksi määrittelemällä ison alueen varjojen muotoja. Harmaasävyjen laskemiseksi on olemassa tietty laskukaava, joka on

$$g := \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i$$

Harmaasävyjen laskukaavassa  $n$  on kuva-alkioiden lukumäärä ja  $g_i$  on kuva-alkioiden arvot tietyssä kuvan osassa.

Digitaalisen kuvan analysoinnin ja tietokonenäön päätavoitteena on tallentaa, käsitellä ja analysoida kuvia käyttäen niille varattuja algoritmeja. Lisäksi kuvista saadun tiedon tarjonta ja tulkinta kuuluu tietokonejärjestelmän tehtäviin. Kuvankäsittelyohjelman kuusi tärkeintä tehtävää ovat kuvan lataus, kuvan prosessointi, kuvan analysointi, mittaukset, päätöksen tekeminen ja lopputuloksen esittäminen. (Osten 2007, 5.)

#### 5.4 Automaattisen optisen tarkastajan liikeradan suunnittelu

Automaattisen optisen tarkastamisen laitteiden kameran liikeradan suunnittelun tavoitteena on optimoida kameran liikerata ja näin pienentää kokonaistyöaikaa. Koska kameran löytöalue on rajattu, piirilevyn kaikki komponentit sekä tinauskohdat pitää jaotella useaan ryhmittymään. Kamera käy läpi kaikki ryhmittymät ja kerää kuvatiedot suorittaessa piirilevyn tarkastuksen. Ryhmittymien lukumäärällä sekä kameran liikeradoilla on suuri merkitys kokonaistyöaikaan. (Park & Kim 2005.)

## 6 SOVELLUKSIA

### 6.1 Vektorillinen kuvatekniikka

Harmaan sävyjen korrelaatio on väistymässä uusien teknologioiden tieltä, kuten vektorien kuvaamisen. Näillä uusilla komponenttien tunnistusmetodeilla pystytään selviämään piirilevyn kokoonpanon suurimmista haasteista, jotka ovat ohjelmoitiin tarvittava aika sekä ohjelman liikuteltavuus ja luotettavuus. Nämä uudet menetit yhdistettynä statistiseen prosessin hallintaan auttavat huomaamaan negatiivisia suuntauksia sekä löytämään vikoja prosessissa jo ennen niiden ilmestymistä. (Norris 2001, 1.)

Uusien tekniikoiden käyttö piirilevyn kokoonpanon tarkastuksessa on syrjäyttämässä harmaan sävyjen korrelaation käytön automaattisessa optisessa tarkastamisessa. Usean vuoden ajan harmaan sävyjen korrelaatio sekä kuva-alkioiden laskeminen ovat olleet automaattisen optisen tarkastamisen sovelluksien tukijalkoja. Nopeampien sekä tarkempien ratkaisuiden tarpeesta huolimatta ovat AOI-laitteiden valmistajat hitaasti reagoineet tähän tarpeeseen. Hitaan reagoinnin seurauksena markkinoille tuli tyhjiö ja syntyi epäluottamusta automaattista optista tarkastamista kohtaan. Automaattinaön kehittäminen juotoksen jälkeisiä vikoja havaitsemaan ei ole ratkaisu, sillä vaikka tällä ratkaisulla huomataan puuttuneet komponentit, huonot liitokset, hautakivi efektit ja muut näkyvät virheet, se ei kuitenkaan riitä tarjoamaan kunnollista prosessin hallintaa tai reaaliaikaista statistista prosessikontrollia (SPC). Yritykset ovat yhä enemmän hyväksyneet AOI-laitteet myös muualle kuin linjaston loppuun, kuten komponentin ladonnan jälkeen sekä ennen juotosta. Maksimaalinen hyöty saavutetaan, kun AOI-laitteisto kommunikoi sekä ylä- että alavirran kokoonpanolaitteiston kanssa. Se pystyy suorittamaan muutoksia prosessiin sen poiketessa sallituista arvoista kuitenkin niin, että ei ylitetä maksimi- tai minimiarvoja. (Norris 2001, 2.)

Harmaansävyjen korrelaatioissa laitteeseen on tallennuttu kuva, joka on hyväksyttävän tarkka. Tätä kuvaa verrataan tuotannosta otettuihin kuviin ja verrataan kuva-alkioiden harmaansävyjä sekä niiden lukumäärää tietyllä alueella. Kun käytetään laitteeseen tallennuttua kuvaa vertailuun, tarkastamisessa päästään melko hyvään tulokseen, mutta ongelmia saattaa tulla pyörähtäneiden komponenttien kanssa. (Norris 2001. 2)

Vektorillinen kuvatekniikka on kehitetty, koska mikään muu tekniikka automaattisessa optisessa tarkastamisessa ei vastannut haluttua helppokäyttöisyyttä, toistettavuutta ja järjestelmän vakautta. Esimerkiksi kuva-alkioiden laskemista käyttävä tekniikka on hidas sekä huono tilanteissa, joissa tulee muutoksia taustaan, väriin, kokoon tai tapahtuu kiertymistä. Vektorillinen kuvatekniikka lähestyy ongelmaa täysin eri näkökulmasta, se perustuu ruudukkopohjaiseen kuvioanalyysiin. Vektoreihin perustuva kuvaaminen muuttaa kuva sensoreita käyttäen kuva-alkiot geometrisiksi ominaisuuksiksi. Vektoritekniikalla pystytään havainnoimaan kappaleet sekä niiden ominaisuudet riippumatta kappaleiden muodosta tai paikasta. (Norris 2001, 2.)

Käytettäessä geometrisien ominaisuuksien tarkastelua, kuva-analyysiin eivät vaikuta kappaleen värisävyt, eivätkä kappaleen epälineaariset koon muutokset. JEDEC- ja IPC-standardit sallivat komponentin koon ja muodon muutoksen, niiden pysyessä prosessin raja-arvojen välissä. Kaikki näkökykyä käyttävät laitteet, joita käytetään tässä sovelluksessa, on saatava toimimaan samalla periaatteella erilaisissa kokoonpanoissa sekä tuotantoprosesseissa. (Norris 2001, 3.)

Koska vektorillinen kuvatekniikka käyttää geometrisia muotoja ja matematiikkaa, on mahdollista tehdä täysin matemaattisia tai synteettisiä malleja tutkittavasta kohteesta. Synteettisillä malleilla pystytään minimoimaan virheet, jotka aiheutuvat valon tai taustan muutoksesta. Nämä mallit pystytään tekemään käyttämällä JEDEC- tai IPC-komponenttien erikoisominaisuuksien arkkia tai ottamalla kuva halutusta kohteesta. Tämä ominaisuus mahdollistaa suuret kokoelmat synteettisiä malleja jokaisesta komponentista. Lisäksi malleja pystyy helposti muokkaamaan sekä lataamaan uusia malleja Internetistä. Synteettisten mallien suurimmat hyödyt ovat siis liikuteltavuus sekä kapasiteetti, jota voidaan käyttää maailmanlaajuisesti. (Norris 2001, 3.)

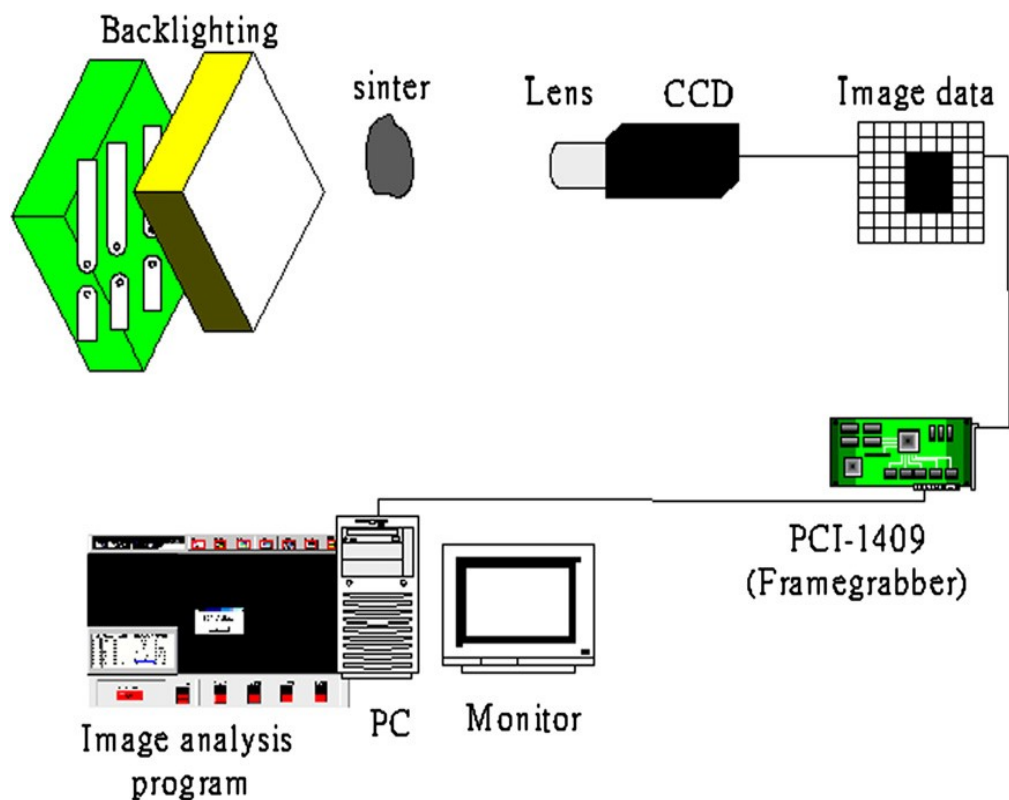
## 6.2 Jaettu verkkoalusta optisessa tarkastamisessa

Tavanomainen ratkaisu tuotannon automaattiseen optiseen tarkastamiseen on analoginen kamera yhdistettynä tietokoneeseen ja näyttöön. Tuotantolaitoksilla on nykyisin useita automaattisia tarkastuspisteitä tuotantolinjalla. Erillisen tietokoneen käyttö jokaisessa tarkastuspisteessä on kallista jo pelkästään tarvittavan tilan takia puhumattakaan erillisten tietokoneiden ja ohjelmistojen hankinta- ja käyttökustannuksista. Viime aikoina automaattisen optisen tarkastamisen sovelluksia tarjoavat yritykset ovat kehittäneet kameroita, jotka pystytään liittämään samaan tietoverkkoon. Tällä on pyritty siihen, että tultaisiin toimeen yhdellä tietokoneella. Kasvaneen kuvaresoluution, kuva-alkioiden syvyyden ja reaaliaikaisten vaatimuksien vuoksi tämä tekniikka on kuitenkin kohtuuton, vaikka liittäisi kameroihin vertailuominaisuuden. Vaikka kasvava kaistanleveys tietoverkossa voisi poistaa tämän monien tarkastuspisteiden tiedon liikuttamisesta aiheutuvan pullonkaulan, silti useiden kameroiden ja algoritmien käyttö reaaliaikaisissa toiminnoissa voisi osoittautua ylitsepääsemättömäksi ongelmaksi. (Moreira ym. 2003, 1.)

Yhden tarkastuspisteen kustannuksien pienentämiseksi ja samalla vaadittavan kaistanleveyden pitämiseksi pienenä on kehitetty vaihtoehto, joka perustuu älylliseen kameraan, johon on sulautettu automaattisen optisen tarkastamisen algoritmien käsittely. Kamerasta siirretään tietokantaan siis esikäsiteltyä tietoa. Tähän lopputulokseen päästään käyttämällä CMOS-kuvagensoreita liitettyä korkean tarkkuuden alueohjelmoituun porttikenttään tarkastamiseen käytettävissä kameroissa. (Moreira ym. 2003, 1.)

### 6.3 Verkossa toimiva optinen tarkastusjärjestelmä

Verkossa oleva optinen tarkastusjärjestelmä koostuu tietokonenäöstä, elektronisista hallintaosista, mekaanisista osista sekä kuvan käsittelystä ja analysoinnista. Tähän tekniikkaan liittyy kaksi selkeää etua jotka ovat nopea mittausvauhti sekä vähemmän analyysistä johtuvia virheitä.



**Kuva 6.1** Verkossa toimiva automaattinen tarkastusjärjestelmä (Liao & Trang 2007.)

Kuvassa 4 on verkossa toimiva automaattinen tarkastusjärjestelmä. Ensimmäisenä on taustavalo ja seuraavana on kuvattu kappale. Kuvaaminen suoritetaan CCD-kameralla linssin läpi. Kuvaamisen jälkeen kuva jaetaan kuva-alkioihin ja se siirtyy kuvan kaappajalle josta se siirtyy tietokoneelle jossa kuva analysoidaan.

Partikkeleiden koon jakauma, niiden lukumäärä sekä partikkeleiden painon osuudet kerätään yhteen käyttäen verkossa toimivaa tarkastusjärjestelmää. Järjestelmän luotettavuutta sekä tarkkuutta pystytään parantamaan käyttämällä takautuvasti lineaarista rinnastamista. Verkossa toimivalla automaattisella tarkastusjärjestelmällä on suuri toistuva tarkkuus karheapintaisten partikkeleiden kokoja analysoitaessa. (Liao & Trang 2007, 2.)

## 7 Tulokset

Työn tavoitteena oli tutkia automaattisen optisen tarkastuksen tekniikkaan, käyttöön, ominaisuuksiin ja mahdollisuuksiin. Tarkoituksena oli myös perehtyä automaattisessa optisessa tarkastuksessa käytettävän laitteen rakenteeseen ja toimintaperiaatteisiin, ja näin ollen aikaansaada kattava teoreettinen katsaus laitteen rakenteesta ja toiminnasta. Lisäksi tavoitteena oli tutustua Turun ammattikorkeakoulun elektroniikkatuotannon laboratoriossa olevaan automaattiseen optiseen tarkastajaan sekä laittaa laite käyttökuntoon.

Työn tuloksena saatiin tietoa automaattisen optisen tarkastajan ominaisuuksista sekä käytöstä. Työn teoriaosiossa perehdytään kattavasti automaattisessa optisessa tarkastuksessa käytettyihin laitteisiin ja menetelmiin, sekä sovelluksiin.

Automaattista optista tarkastusta voi vielä kehittää, enemmän itsekorjaavaan suuntaa. Automaattisen optisen tarkastajan havaitessa virhe, se lähettää automaattisesti virheen syyn ja korjaustiedon edelliselle laitteelle. Edellinen laite korjaa asetuksensa viestin saatuaan, optiselta tarkastajalta saadun ilmoituksen mukaisiksi. Automaattista optista tarkastajaa voisi käyttää elektroniikkatuotantolinjaston jokaisen laitteen jälkeen. Tällä tavoin voisi saada aikaiseksi täysin automaattisesti virheen korjaavan linjaston elektroniikkatuotantoon.

Automaattisen optisen tarkastuslaitteen SVS-2000:nen käyttöönotto ei onnistunut suunnitellusti. Laitteeseen saatiin virrat päälle, mutta mitään muuta eloa laitteeseen ei saatu. Käyttöohjeissa kerrottiin, että tällaisessa tilanteessa on syytä kutsua paikalle ammattitaitoinen korjaaja. Laitteen käyttöohjeet alkavat vasta kohdasta, jossa laitteessa on virrat ja monitorit päällä. Koneen tarkastelu jäi siis pintapuoliseksi, ja itse koneen käytöstä ei ole tuloksia.

## 8 AUTOMAATTINEN OPTINEN TARKASTAJA SVS SERIES 7500

Synthetic Vision Systems laitteen osat ja ohjelmistot. Optista osaa tarvitaan halutun tarkastuskohteen havainnointiin, kuten kohteen näkymiseen tietokonenäytöllä. Se sisältää 3-D laserskannerin sekä sensorin harmaansävyjen ja 3-D tiedon käsittelyyn. Laserlukupäätä, joka liikkuu tarkastettavan alueen yläpuolella, ohjataan mikroprosessori ohjatulla korkean tarkkuuden tasavirta servomoottori sijaintijärjestelmällä. (Synthetic Vision Systems.)



**Kuva 8.1** SVS automaattinen optinen tarkastaja.

Kuvankäsittelyjärjestelmä sisältää tarvittavat laitteistot sekä ohjelmistot kuvananalysointiin sekä tarkastustulosten tallentamiseen. Laite omaksuu ja käsittelee 2-D ja 3-D kuvia, käyttäen 256 harmaansävyjen tasoa ilmaisemaan kirkkautta verrattuna 2-D kuvaan, sekä havainnollistamaan karkeuksia 3-D kuvissa. Järjestelmä ottaa vastaan, suodattaa ja tallentaa kuvat. Lisäksi se tarjoaa kuvat näytölle sekä analysoi kuvat ja tuo tulokset esille. (Synthetic Vision Systems.)

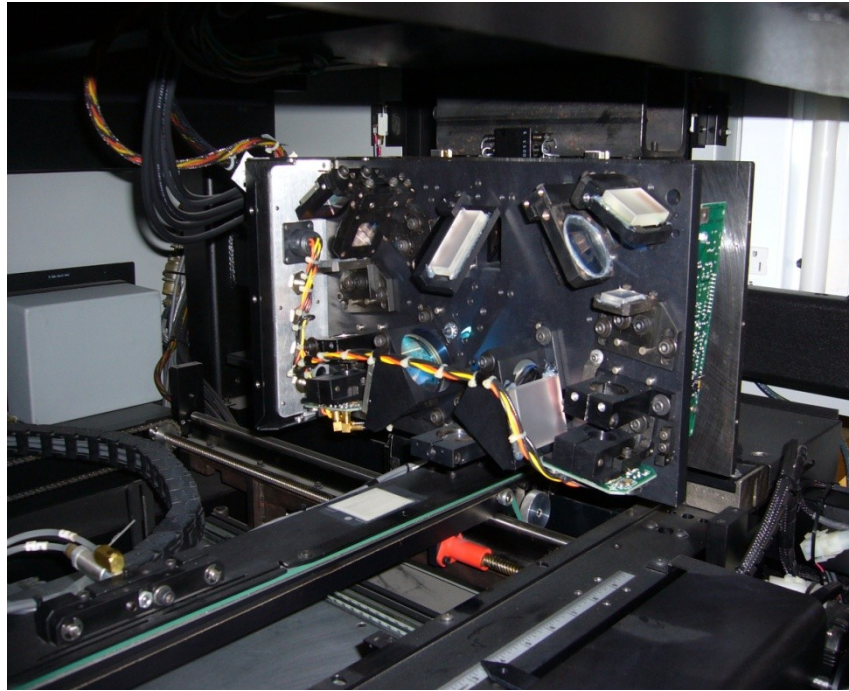


Päätietokonejärjestelmä hallitsee tarkastustoimintoja sekä tarjoaa käyttöliittymän yhdessä näppäimistön, numeronäppäimien ja monitorien kanssa. Siihen sisältyy 68030-mikroprosessori, UNIX-käyttöjärjestelmä, neljä megabittiä ohjelmamuistia, kaksi RS-232-porttia, yksi rinnakkaistulostinportti, diskettiasema, kasettiasema sekä kovalevy. (Synthetic Vision Systems.)



**Kuva 8.2** Automaattisen optisen tarkastusjärjestelmän toimintopaneeli.

Materiaalin käsittely ja hallintajärjestelmä koostuu kuljettimesta, (lamppupuusta), standardin mukaisesta ohjausyksiköstä (I/O SHEMA) ja toimintopaneelist. Tarkastuksen aikana kuljetin on yleensä automaattiohjauksessa, mutta halutessa sen saa myös manuaalisesti ohjattavaksi. (Synthetic Vision Systems.)



**Kuva 8.3** automaattisen tarkastus laitteen lukupää suojat irrotettuna.

SVS-automaattisen tarkastajan lukupää koostuu kahdesta Cmos-kamerasta, jotka on kumpikin suunnattu kahdella peilillä neljän erikokoisen linssin läpi.

## 9 POHDINTA

Optisia tarkastuslaitteistoja kehitetään vastaamaan yhä enemmän prosessihallinnan ja reaaliaikaisen laadunvalvonnan haasteisiin. Uusista laitteistoista pyritään tekemään tuotantoprosessin virheitä itsestään korjaaviksi. Tiettyjen raja-arvojen ylittyessä laitteisto syöttää tiedot edellisiin vaiheisiin, jotta mahdolliset toistuvat virheet pystytään korjaamaan tuotantoprosessista automaattisesti.

Automaattisen optisen tarkastuksen käyttömahdollisuudet teollisuudessa ovat erittäin laajat. Optiset tarkastuslaitteistot lisääntyvät myös pienemmissä yrityksissä. Laitteistojen kehitys on jatkuvaa niin kuin koko elektroniikkateollisuuden, joten vain tulevaisuus näyttää, mihin kaikkiin tarkoituksiin ja minkälaisiin sovelluksiin automaattista optista tarkastamista pystytään käyttämään. Lisäksi kameroiden tekniikat lisäksi kehittyvät koko ajan digitaalisen vallankumouksen myötä, ja se tarjoaa taas tarkempia automaattisia tarkastusjärjestelmiä. Tiedonsiirto nopeutuu, joten optisten tarkastusjärjestelmien tiedot voivat olla reaaliajassa jopa toisella puolella maapalloa.

Tämän työn tavoitteena oli perehtyä automaattisen optisen tarkastuksen tekniikoihin ja tutustua Turun ammattikorkeakoulun elektroniikkatuotannon laboratorion automaattiseen optiseen tarkastajaan. Tietoa aiheesta oli aluksi erittäin hankala löytää, mutta Nelli-portaalin kautta löytyi joitakin aihetta käsitteleviä artikkeleita, ja ohjaavan opettajan avustuksella löysin elektronisia kirjoja, joista sain hyvää aineistoa tekstiini.

Turun ammattikorkeakoulun elektroniikkatuotannon laboratoriossa olevaan automaattiseen optiseen tarkastajaan pääsin tutustumaan vain ulkoisesti, koska laitteen käyttökuntoon saaminen olisi edellyttänyt ammattitaitoista korjaajaa. Pääsin kuitenkin tutustumaan laitteen käyttöohjeisiin ja laitteen sisältöön avaamalla koneen kuoret. Koneen sisältä lisäksi avasin liikkuvan lukupään, jonka sisältöön tutustuin.

Selvitystyö, jonka tein aiheesta oli mielenkiintoista. Uskon, että tällainen tiedon kokoaminen helpottaa myös myöhemmin aiheesta tehtäviä projekteja. Automaattisen optisen tarkastajan laittaminen käyttökuntoon oli aluksi haastavaa, ja tämän tutkimuksen kannalta laitteen käyttäminen olisi ollut hyvin mielenkiintoista. Siksi oli erittäin turhauttavaa, kun laitetta ei yrityksistä huolimatta saatu toimimaan missään vaiheessa opinnäytetyöprojektia. Yhden tämän tutkimuksen tärkeimmän osion jääminen jo projektin varhaisessa vaiheessa muuttikin suuresti koko tämän opinnäytetyön luonnetta, sillä laitteen käyttöominaisuuksien ja -mahdollisuuksien testaaminen muuttuikin pelkäksi teoreettiseksi tarkasteluksi ja kuvailuksi.

## 10 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin automaattisen optisen tarkastusjärjestelmän ominaisuuksia ja sovelluksia piirikorttivalmistuksessa. Lisäksi tarkastelun kohteena olivat optisen tarkastusjärjestelmän hyödyt piirikorttivalmistuksessa. Tulokset osoittivat, että piirikortin optisen tarkastamisen käyttömahdollisuudet laadunvalvonnassa ja prosessin hallinnassa ovat laajat.

Tämä työ antaa hyvän teoriapohjan kenelle tahansa aiheesta kiinnostuneelle. Erityisesti elektroniikan opiskelijat voivat hyötyä tämänkaltaisesta koonnista, jossa melko vieraasta aiheesta on tehty suomenkielinen tiivis tietopaketti. Mahdollisia jatkotutkimuksia voisi tehdä automaattisen optisen tarkastajan sovelluksista. Myös tuotannossa olevasta laitteesta voisi tehdä tutkimuksen. Automaattisen optisen tarkastuksen käytöstä ja käyttökokemuksista eri yrityksissä olisi myös mielenkiintoista tehdä kartoitusta. Tätä työtä voisi myös käyttää hyväkseen etsiessä suomenkielistä tietoa automaattisesta optisesta tarkastamisesta, koska aiheesta ei löydy tietoa suomenkielisenä.

Työn tavoitteena oli myös ottaa käyttöön Turun ammattikorkeakoulun elektroniikkatuotannon laboratorion laitteisto, joka valitettavasti osoittautui ylitsepääsemättömän puutteelliseksi. Työtä voisi jatkaa hankkimalla CLS-laitteiston sekä puuttuvat piirikaaviot ja rakentaa niiden avulla puuttuvat ominaisuudet laitteistoon.

Tämä työ herättää myös kysymyksiä siitä, miten esimerkiksi Turun ammattikorkeakoulu voisi paremmin hyödyntää opetuksessaan automaattisen optisen tarkastajan kaltaista laitetta, sillä tähän mennessä, varsinkaan laitteen ollessa epäkunnossa, vain pieni murto-osa opiskelijoista pääsee tutustumaan laitteen käyttöön. Voisiko koulu lisäksi jatkossa paremmin edesauttaa opiskelijoiden verkostoitumista alan yrityksiin? Jatkotutkimusehdotuksena voitaisiin toteuttaa jossain alan yrityksessä, jossa kyseinen laite (AOI) on käytössä. Mielekkäämpää olisi toteuttaa tutkimus jonkin yrityksen kanssa yhteistyössä, jolloin tutkittava laite olisi käytössä, ja mikä tärkeintä, toimintakunnossa.

## Lähteet

Acciani, G.; Brunetti, G. & Fornarelli, G. 2006. Application of Neural Networks in Optical Inspection and Classification of Solder Joints in Surface Mount Technology. Viitattu 3.2.2010

<http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.turkuamk.fi/stamp/stamp.jsptp=&arnumber=1668079&isnumber=34923>.

Chen, C.-H.; Yeh, C.-W. & Yin, P.-Y. 2008. A novel Fourier descriptor based image alignment algorithm for automatic optical inspection. Viitattu 26.6.2009.

[http://www.sciencedirect.com.ezproxy.turkuamk.fi/science?\\_ob=MIimg&\\_imagekey=B6WMK-4TXF7Y1-1-19&\\_cdi=6937&\\_user=1638736&\\_orig=search&\\_coverDate=04%2F30%2F2009&\\_sk=999799996&view=c&wchp=dGLbVzb-zSkWA&md5=c94d17277f7fc3983f638559128f2d45&ie=/sdarticle.pdf](http://www.sciencedirect.com.ezproxy.turkuamk.fi/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6WMK-4TXF7Y1-1-19&_cdi=6937&_user=1638736&_orig=search&_coverDate=04%2F30%2F2009&_sk=999799996&view=c&wchp=dGLbVzb-zSkWA&md5=c94d17277f7fc3983f638559128f2d45&ie=/sdarticle.pdf).

Faber, C. 2008. Automatic Optical Inspection of IC Connections. Viitattu 20.6.2009

<http://proquest.umi.com.ezproxy.turkuamk.fi/pqdweb?index=23&did=1388437101&SrchMode=1&sid=1&Fmt=4&VInst=PROD&VType=PQD&RQT=309&VName=PQD&TS=1243419972&clientId=45290>.

Krippner, P & Beer, D. 2004. AOI testing positions in comparison. Circuit Assembly 4/2004, 26–32

Liao, C.W. & Tarng, Y.S. 2007. On-line automatic optical inspection system for coarse particle size distribution. Viitattu 6.2.2010 [http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6TH9-4T77G3P-](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TH9-4T77G3P-1&_user=10&_coverDate=02%2F13%2F2009&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1340786527&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=162cf0e30b430ecbb5af62b954fe62b5)

[1&\\_user=10&\\_coverDate=02%2F13%2F2009&\\_rdoc=1&\\_fmt=high&\\_orig=search&\\_sort=d&\\_docanchor=&view=c&\\_searchStrId=1340786527&\\_rerunOrigin=google&\\_acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=162cf0e30b430ecbb5af62b954fe62b5](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TH9-4T77G3P-1&_user=10&_coverDate=02%2F13%2F2009&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1340786527&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=162cf0e30b430ecbb5af62b954fe62b5).

Moreira, L.F.E.; Silvino, J.L.; de Melo, J.C.D. & Coelho Jr, C.N. 2003. Distributed network platform for automatic optical inspection. Viitattu 27.1.2010

<http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.turkuamk.fi/stamp/stamp.jsptp=&arnumber=1251539&isnumber=28020>.

Norris, M.J. 2001. Advanced in automatic optical inspection: Gray scale correlation vs. vectoral imagin. Viitattu 27.1.2010 .[http://www.emsnow.com/cnt/files/White%20Papers/The\\_Zero\\_Defect\\_SMD\\_Assembly\\_Line.pdf](http://www.emsnow.com/cnt/files/White%20Papers/The_Zero_Defect_SMD_Assembly_Line.pdf)

Osten, W. 2007. Optical Inspection of Microsystems. Boca Raton: Taylor & Francis Group.

Park, H. & Kim, H.-J. 2005. Path Planning of Automatic Optical Inspection Machines for PCB Assembly Systems. Viitattu 3.2.2010 <http://ieeexplore.ieee.org.ezproxy.turkuamk.fi/stamp/stamp.jsptp=&arnumber=1554285&isnumber=33075>.

Reinhard, J.; Wassink, K. & Verguld, M. 2005. Manufacturing techniques for surface mounted assemblies. Electrochemical Publications.

Sauer, W.; Oppermann, M.; Weigert, G.; Werner, S.; Wohlrabe, H.; Wolter, K.-J. & Zerna T. 2006. Electronics Process Technology. Lontoo: Springer.

Synthetic Vision Systems. Series 7500 user's manual

Singh, R. 2006. Introduction to basic manufacturing processes and workshop technology. New Delhi: New age international Publishers.